پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۵۲، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۹
ص ۶۷۲- ۶۵۹

واکاوی مفهوم مقیاس و تبیین آن در ژئومرفولوژی

سمیه سادات شاه‌زیدی* ـ استادیار ژئومرفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸

چکیده

در ژئومرفولوژی مباحث بنیادین متعددی مطرح است؛ از جملهٔ این مباحث می‌توان به مقیاس اشاره کرد. بین چشم‌اندازها و اجزای فرم‌های تشکیل‌دهندهٔ آن روابط خاصی وجود دارد که بر نوعی پیوستگی مقیاسی حکایت می‌کند. این قواعد و روابط مقیاسی نه‌تنها در سطح چشم‌اندازها، بلکه در سطح لندفرم‌ها نیز حاکم است و، به دلیل پیچیدگی‌های این مفهوم در مطالعات ژئومرفیک، کمتر به آن توجه شده است؛ حال آنکه صحت و دقت بسیاری از مفاهیم ژئومرفیک در گرو دانستن چنین مفاهیمی است. در این مقاله سعی شده است با تحلیل متن نوشته‌های هفت تن از محققان ژئومرفولوژی یعنی دورن کامپ[1]، هَک[2]، روسگون[3]، اوانز و مکلین[4]، تورکات[5]، مندلبرت[6]، و گلی مختاری در این زمینه مفاهیم مختلف مقیاس چون مقیاس ویژه[7]، یونی‌ورسالیتی[8]، ثبات مقیاس[9]، ژئوآلومتری[10]، فراکتال[11] یا بدون مقیاس، مقیاس در حوزهٔ سلسله‌مراتبی تبیین شود. روش فوق متکی به تعاریف این محققان از مقیاس نبوده است، بلکه کالبدشکافی کارهای تجربی آن‌ها به طرح مفاهیم جدیدی در حوزهٔ مقیاس منجر شده که از بطن نوشته‌ها و متدهای به‌کارگرفتهٔ آن‌ها مستخرج شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که

*** با پیچیده‌ترشدن مسائل در ژئومرفولوژی درک مفاهیم جدید مقیاسی نیز مطرح شده است.**

*** مقیاس از یک نسبت سادهٔ ریاضی در جغرافیا به چندین نسبت معرفتی در ژئومرفولوژی تبدیل شده است.**

*** طرح مفاهیم پیچیدهٔ مقیاسی تابعی از عمق فهم ژئومرفولوژیست‌ها در هر دوره بوده است.**

***واژگان کلیدی:** ثبات مقیاس، ژئوالومتری، فرامقیاسی، مقیاس، مقیاس ویژه.*

مقدمه

ژئومرفولوژی[12] دانشی است که به بررسی الگوی چشم‌اندازها و شناخت فرم اراضی در یک دید سیناپتیکی در پی شناخت واقعیت‌های مستور است و به تبیین فرایند به‌وجودآمدن و قواعد چیدمان آن‌ها در فضا مبادرت می‌کند.[13] یکی از مسائل

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۱۲۹۱۴۳۴ Email: s.shahzeidi@guilan.ac.ir

1. Doornkamp
2. Hack
3. Rosgon
4. Evans and McClean
5. Turcott
6. Mendelbort
7. Scale-Specific
8. Universality
9. Scale Invariance
10. Geo allometry
11. Fractal
12. Geomorphology
13. Geomorphology is the knowledge that examines landscape patterns and landform recognition in a synaptic view, in order to understand the realities of the non-intangible, and to explain the process that created them and the rules of their space syntax.

مهم در قلمرو و ماهیت علم جغرافیا، که به تحقق اهداف دانش ژئومرفولوژی کمک کرده، مفهوم مقیاس است. معمولاًدر ادبیات جغرافیایی مقیاس یک نسبت ساده تعریف شده که غالباً برای نمایش میزان کوچک‌شدن یک پدیده به نسبت واقعی آن در نقشه‌ها به‌کار گرفته می‌شود؛ ولی واقعیت آن است که مقیاس در ژئومرفولوژی مفهوم گسترده‌ای را دربر می‌گیرد و هر موضوعی که به نحوی بیانگر یک نسبت باشد در قلمرو مفهومی مقیاس قرار دارد و ژئومرفولوژیست‌های اندکی به این مهم اشاره کرده‌اند. مقیاس چه در قلمرو عملکردها چه در زمینهٔ معرفتی نقش حیاتی در ژئومرفولوژی داشته و دارد. مثلاً، در قلمرو خاک‌شناسی فرایندهای شیمیایی ذرات با کاهش ابعاد آن‌ها به دو مو[1] خواص عناصرشان کلاً دچار تغییر می‌شود و به همین دلیل در جغرافیای خاک‌ها رس‌ها که فقط بیان‌کنندهٔ اندازهٔ هر ماده‌ای می‌تواند باشد (نه جنس آن‌ها)، عملکرد شیمیایی اهمیت دوچندان پیدا می‌کند و بسیاری از واکنش‌های حیاتی و معدنی در خاک تنها و تنها بستگی به اندازهٔ عناصر دارد و نه خود عناصر. در تحلیل‌های آماری نیز رابطه‌سنجی‌ها، یعنی تکنیک همبستگی‌ها، خود یکی از مفاهیم مقیاس است؛ زیرا وقتی فرمول خطی و یا دیگر فرم‌های همبستگی را تحریر می‌کنید درواقع نسبت بین دو متغیر تعریف می‌شود. بنابراین، مقیاس از مباحث بنیادینی است که از دیدگاه نظری به طرح مفاهیم دیگری چون یونی‌ورسالیتی[2]، مقیاس ویژه ، فراکتال، مقیاس شبکه‌ای رودخانه‌ای[3]، و ژئوآلومتری[4] می‌انجامد.

جست‌وجو در منابع قابل دسترس نشان می‌دهد محققان و دانشمندان بسیاری به مسئلهٔ مقیاس توجه کرده‌اند. با توجه به بررسی و پژوهشی که توسط تمپل‌بل (۱۹۸۴) و قربانی (۱۹۶۸) در مورد ۱۶۷ نفر از دانشمندانی که کتاب یا رساله یا مقاله‌ای دربارهٔ حساب، هندسه، جبر و مثلثات، و ... پدید آورده‌اند، می‌توان از شیخ‌الرئیس ابوعلی سینا، ابن‌یونس، منجم و ریاضی‌دان مصری، اقلیدسی، بوزجانی، بیرونی، جابر بن افلح، خوارزمی، شرف‌الدین طوسی، غیاث‌الدین علی اصفهانی، غیاث‌الدین جمشید کاشانی، ماهانی، خیام، فیثاغورث، دکارت، برنارد و ریمان و ... نام برد که مفهوم مقیاس را در قالب‌های خاصی به‌کار برده‌اند. این دانشمندان، که به ریاضیات از جنبهٔ فلسفی توجه داشته‌اند، مفهوم مقیاس را در کارهای خود به نوعی به بحث گزارده و در کارهای بی‌نظیر خود به رابطهٔ اعداد و نسبت آن‌ها به اشکال و فرم‌های منظم هندسی پرداخته و رابطهٔ بین این نسبت‌ها و اعداد را مشخص کرده‌اند. از جمله یکی از برجسته‌ترین محققان ایرانی که در گذشته مفهوم مقیاس را تبیین کرده و در کارهایش به رابطهٔ اعداد و نسبت آن با فرم‌های هندسی اشاره کرده غیاث‌الدین جمشید کاشانی (۷۹۰–۸۳۲ ق)، از زبردست‌ترین ریاضی‌دانان برجستهٔ دورهٔ اسلامی، است که در مورد نسبت‌های درون دایره، در الرِسالهٔ المُحیطیهٔ بحث‌های دقیقی ارائه کرده و نسبت محیط دایره به قطر و عدد پی را با دقتی که تا ۱۵۰ سال پس از وی بی‌نظیر ماند محاسبه کرده است (کرامتی، ۲۰۰۲: ۱۸). او در رسالهٔ محیطیه ژرف‌اندیشی و تسلط خود را در مفهوم نسبت‌ها در مقدمهٔ کتاب خود چنین به نمایش می‌گذارد: «ستایش خداوندی را سزد که از نسبت قطر به محیط آگاه است و درود و سلام بر محمد مصطفی و خاندان او که مرکز دایرهٔ رسالت و محیط اقطار راهنمایی و دادگری است» (قربانی، ۱۹۷۱: ۱۷۰).

همل (۱۹۸۷)، دان‌لپ (۱۹۹۷)، رانیون (۱۹۹۰)، چورلی (۱۹۷۷)، والسر (۲۰۰۱)، و اولسن (۲۰۰۶) نیز به بررسی نسبت طلایی و شرح جالبی از اعداد و نسبت جملات متوالی در سری فیبوناتچی[5] و میزان آن در طبیعت پرداخته و سابقهٔ

---

۱. یکی از واحدهای طول متریک برابر با 10^{-6}متراست. یک میکرومتر معادل۱۰۰۰ نانومتر یا ۱/۱۰۰۰ میلی‌متر است. میکرون را با مو μm نشان می‌دهند.
2. Universality
3. River networks
4. Geoallometry
5. Fibonacci

آشنایی بشر با این نسبت‌ها را به هزار سال پیش از میلاد نسبت می‌دهند و چنین تناسبی را مطلوب‌ترین تناسب بین دو جزء در پدیده‌ها دانسته و بسیاری از هنرمندان از این نسبت بهره جسته‌اند. عدد فی نیز (۱/۶۱۸۰۳۳) توسط اقلیدس[1] نسبت طلایی[2] نام گرفت و بعدها نویسندگان عصر رنسانس آن را نسبت الهی[3] نامیدند (لولر، ۱۹۸۹).

اگرچه بسیاری از محققان در این زمینه در علوم مختلف تلاش‌های بسیاری کرده‌اند، از ژئومرفولوژیست‌هایی که بنا به مقاصد خاص در این زمینه کار کردند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

هک (۱۹۱۳–۱۹۹۱)، که یک زمین‌شناس و ژئومرفولوژیست امریکایی بود، به روابط موجود بین اجزای یک حوضهٔ آبریز و اجزای آن مثل شیب، طول و عرض حوضه، و دیگر متغیرهای متریک، روابط و نسبت‌هایی را بیان کرد که به قانون هک شهرت یافت (ریگون و همکاران، ۱۹۹۶: ۳۳۶۷). دورن‌کامپ و کینگ (۱۹۷۱) در کتابی با نام تحلیل کمی در ژئومرفولوژی از میان روش‌های بسیار متعددی که برای اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل فرم و فرایندهای مختلف ژئومرفولوژی برگزیدند آن‌هایی را که در تجزیه و تحلیل داده‌های مورفولوژیکی مربوط به حوضه‌های زهکشی استفاده می‌شوند بررسی کردند و به چگونگی اندازه‌گیری پارامترهای مختلف ژئومرفولوژیکی در فرایندهای مختلف رودخانه‌ای، یخچالی، بادی، ساحلی، و دامنه‌ای پرداختند. با توجه به روش‌های ارائه‌شده، داده‌های کمی بسیاری را می‌توان فراهم و بررسی کرد. نکتهٔ قابل توجه این است که روابطی کّمی بین رتبهٔ رود با تعداد شاخه‌ها، طول شاخه‌های رود، مساحت حوضهٔ زهکشی، شیب، ضریب ناهمواری‌ها و شکل هندسی ایجاد کرده است و این روابط نشان می‌دهد می‌توان قوانینی را بین آن‌ها وضع کرد و عمومیت داد (دورن‌کامپ و کینگ، ۱۹۷۱).

مکلین و اوانز (۲۰۰۰) به بررسی پدیده‌های ژئومرفولوژی از جمله حرکات دامنه‌ای و سیرک‌های یخچالی در مناطق مختلف پرداختند و شاخص‌های آماری آن‌ها را اندازه‌گیری کردند. این مسئله نشان داد اندازه‌گیری‌ها حول دامنهٔ خاصی قرار دارد که این ویژگی‌ها را می‌توان به‌عنوان خصوصیت هویتی آن‌ها تلقی کرد (مکلین و اوانز، ۲۰۰۰). روسگون (۱۹۹۶) به طبقه‌بندی و تیپ مرفولوژی رودخانه‌ها با استفاده از تئوری سلسله‌مراتبی پرداخت و به طبقه‌بندی آن‌ها اقدام کرد. الگوی سلسله‌مراتب نوعی مقیاس است؛ اما در اینجا مقیاس مفهوم کسری را دربر نمی‌گیرد. اگرچه نمی‌توان نظام کسری را در این سیستم به‌کار گرفت، نوعی طبقه‌بندی است که مفهوم ضمنی مقیاس را دربر دارد (روسگون، ۱۹۹۶).

تورکات در سال ۱۹۸۲ در مقاله‌ای با نام زمان و فضا در ژئومرفولوژی به تفسیر شاخص‌های فضایی پرداخته است و همچنین (۱۹۹۷) مفهوم فراکتال را در زمین‌شناسی و ژئوفیزیک به‌کار برده است و مفاهیمی مثل ثبات مقیاس، فراکتال، شکل‌های پیچیده با مقیاس ثابت[4]، و گسستگی[5] را بررسی کرده است. تورن (۱۹۸۲) در کتاب خود با نام مقدمه‌ای بر نظریه‌های ژئومرفولوژی مباحث مهم و جالبی را دربارهٔ مقیاس مطرح کرده است. او نحوهٔ فرایندهای فضایی و ارتباط آن با زمان و ویژگی‌ها و مؤلفه‌های فضا در ژئومرفولوژی (جهت، فاصله، ارتباط، مقیاس، و مرز در فضا) را بیان می‌کند و به بررسی مفاهیمی مثل پوشش[6]، ارتباط و اتصال[7]، و استانداردهای مقیاس[8] در فضا می‌پردازد. تیت و اتکینسون (۲۰۰۱) به بررسی خصوصیات فراکتال با استفاده از سنجش از دور و وابستگی فراکتال و مقیاس در توپوگرافی پرداخته‌اند.

1. Euclide
2. The Golden ratio
3. The Divine Proportion
4. Complexity forms with constant
5. Disconnection
6. Scale coverage
7. Scale linkage
8. Scale standardization

لاگو و همکاران (۲۰۰۳)، تورنس و برانس دن (۱۹۷۷)، تورکات (۱۹۹۷)، و دادس و روتمن (۲۰۰۰) نیز در زمینهٔ مفهوم و کاربردهای مقیاس کارهای ارزشمندی ارائه داده‌اند. مختاری (۱۳۹۱) با مطرح‌کردن ژئوآلومتری مفهوم جدیدی را ژئومرفولوژی پایه‌گذاری کرد و آن اینکه پدیدارشدن بسیاری از مفاهیم و اشکال ژئومرفولوژی را منوط به رخ‌دادن نسبت دو یا چند عنصر دانست و مفهوم تعادل در ژئومرفولوژی را ژئوالومتری یعنی وجود نسبت خاصی بین عناصر تعریف کرد.

روش تحقیق

برای دست‌یابی به مفهوم پیشرفتهٔ مقیاس در ژئومرفولوژی پس از یک جست‌وجوی نسبتاً گسترده در کتب و مقالات در این زمینه شش تن از پیشکسوتان ژئومرفولوژی، که در زمینهٔ مقیاس در کارهایشان این مفهوم را با بداعت نظری خاصی به‌کار گرفته بودند، انتخاب شدند. این هفت نفر عبارت بود از:

جان چارلز دورن کمپ[1]، جغرافی‌دان، از دانشگاه ناتینگهام انگلستان[2]؛

جان تیلتون هک[3]، زمین‌شناس و ژئومرفولوژیست امریکایی؛

اوانز، ژئومرفولوژیست، از دانشگاه دورهام[4] انگلیس و مکلین دانشگاه یورک[5] کانادا؛

دونالد لاوسون تورکات[6]، زمین‌شناس، از دانشگاه کرنل[7] امریکا؛

بنوت مندلبورت[8]، ریاضی‌دان فرانسوی‌تبار- امریکایی، از دانشگاه ییل[9]؛

دیو روسگون[10]، هیدرولوژیست و ژئومرفولوژیست، از دانشگاه‌های نوادا، مونتانا، و کلورادو ؛

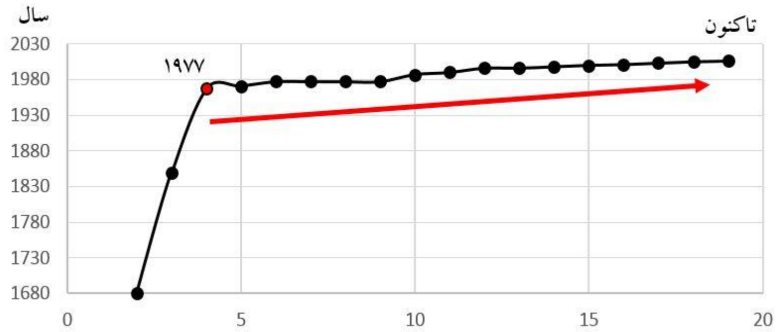
لیلا گلی مختاری، ژئومرفولوژیست، از دانشگاه سبزوار، ایران.

سپس، با گزینش کتب و نوشتارهای آن‌ها، که در حوزهٔ مقیاس مطرح شده بود، نسبت به جداسازی پاراگراف ها و مطالب آن‌ها در این زمینه و طبقه‌بندی آرای آن‌ها اقدام شد و مطالب تکراری، که بعضاً توسط افراد فوق به صورت مشترک بیان شده بود، حذف گردید. در مرحلهٔ پایانی به استخراج مکتوبات بدیعی که مختص هریک از آن‌ها بود مبادرت شد و محتوای آن‌ها به‌عنوان یک نظر خلاصه و تحلیل شد.

بحث و دستاورد

مهم‌ترین دستاوردی که از نظر زمانی در اولین گام تحقیق به‌دست آمد نحوهٔ تحول و حجم کارهایی است که در این زمینه صورت گرفته است. بازنگری نوشتارهای علمی نام‌بردگان نشان می‌دهد که در سی سال اخیر مطالعات مربوط به مقیاس روند افزایشی داشته و بداعت نظری در به‌کارگیری این مفهوم رفته‌رفته پیچیده‌تر شده است (شکل ۱).

1. John .Charles Doornkamp
2. Geographers at the University of Nottingham, England
3. John Tilton Hack
4. Durham university
5. York university
6. Donald Lawson Turcotte
7. Cornell university
8. Mendelbort
9. Yele university
10. Dave Rosgon



شکل ۱. مطالعات مقیاس از سال ۱۶۸۰ میلادی تا کنون (منبع: شاه‌زیدی، ۱۳۹۹)

در گام دوم، اهمیت در طبقه‌بندی موضوعی آرای محققان هفتگانه تفاوت معنایی از موضوع مقیاس بود. اگرچه همهٔ مطالب تحت عنوان مقیاس می‌تواند مطرح باشد، بداعت کار این هفت محقق در آن بود که تعبیرها و مفاهیم کاملاً متفاوت و بدیعی را ارائه می‌دادند. مثلاً، مقیاس ویژه از بدایع و ابتکارات اوانز، ثبات مقیاس از تورکات، یا ژئوآلومتری از بداعت‌های نظری گلی مختاری است. اکنون با این دستاوردهای اولیه به تشریح و تحلیل آرای این هفت محقق مبادرت می‌شود:

جان چارلز دورن کمپ



دورن کمپ در سال ۱۹۶۲ در دانشگاه اوگاندا مشغول به کار شد و سپس در سال ۱۹۶۴ در بخش جغرافیا در دانشگاه ناتینگهام انگلستان به کرسی استادی نائل آمد. بخش عمده از کارهای وی مربوط به کاربرد جغرافیای طبیعی برای مشکلات دنیای واقعی مثل خطرهای طبیعی با گسترش شهرهای جدید در اراضی خشک، مهندسی و توسعه در مناطق دورافتادهٔ جهان (نپال)، و آسیب‌پذیری در برابر آن بوده است. او در دانشگاه به مشاوره می‌پرداخت. سپس، از دانشگاه انصراف داد و به صورت منفرد علاقه‌مندی‌های خود را دنبال کرد.

دورن کامپ و کینگ (۱۹۷۱) اولین کسانی بودند که در نوشته‌های مکتوب خود به تحلیل کمی در ژئومرفولوژی پرداختند و از میان روش‌های متعدد روش‌هایی را استفاده کردند که با آن بتوانند به اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل اشکال زمین و فرایندهای مختلف ژئومرفولوژی بپردازند. او با ایجاد روابط کمی ارتباط اساسی بین مشاهدات تجربی و عبارت ریاضی ایجاد کرده و داده‌ها را با استفاده از روش‌های آمار و ریاضی تجزیه و تحلیل می‌کند. او با اینکه در نوشته‌های خود مستقیم به مفهوم مقیاس اشاره ندارد، با استفاده از قوانین ریاضی و آماری بین عناصر به نوعی مقیاس اشاره دارد و نشان می‌دهد که وقتی بین دو عنصر خاص مثلاً باران و ارتفاع همبستگی ایجاد کنید، رابطه‌ای خطی به‌دست می‌آورید (رابطهٔ ۱). درواقع، به نسبت بین آن دو عنصر دست یافته‌اید و می‌توانید فرمول ۱ را به صورت رابطهٔ ۲ هم بنویسید.

$$Y=2X+1 \quad (۱)$$

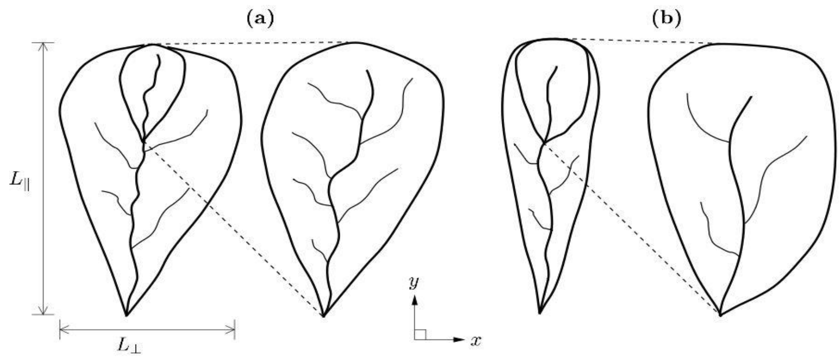
$$Y/X=......... \quad (۲)$$

این همان کسری است که تعریف‌کنندهٔ نوعی مقیاس است و در محیط طبیعی چنین مقیاس‌هایی را فراوان می‌توان فهم کرد.

جان تیلتون هک و ماهیت قانون هک[1]



جان تیلتون هک (۱۹۱۳–۱۹۹۱)، زمین‌شناس و ژئومرفولوژیست امریکایی، به دلیل تفسیر بدیع خود در مورد مفهوم تعادل پویا[2] در چشم‌اندازها معروف شد. بیشترین مقالات جان هک در سال‌های ۱۹۵۷–۱۹۶۵ منتشر شد و از آن‌ها استقبال شد. او جایزهٔ فاخر جامعهٔ زمین‌شناسی کواترنری و جامعهٔ ژئومرفولوژی دیویسی را در سال ۱۹۹۰ دریافت کرد (اوسترکامپ و هاپ، ۱۹۹۳: ۵۹–۶۱). هک به روابط کَمّی موجود بین اجزای یک حوضهٔ آبریز پرداخت. او برای اولین بار قانون هک را بیان کرد. با توجه به این روابط، بیان می‌کند پدیده‌ها بر پایهٔ نسبت‌های خاصی شکل گرفته‌اند و می‌توانند بر اساس قانون ویژه‌ای عمل کنند. وی مقیاس را درمورد پدیده‌های فرمی مطرح می‌کند که ما آن‌ها را سیستم می‌نامیم. مثلاً، در مطالعهٔ حوضه‌های آبریز معادلاتی را ارائه می‌دهد که برای مثال بین طول یک آبراهه و مساحت آن رابطهٔ ثابتی وجود دارد. این رابطه به اندازهٔ حوضه‌های ابریز بستگی ندارد و اگر حوضه‌ای به مساحت یک کیلومتر مربع داشته باشیم، همان رابطه بین طول و مساحت آن برقرار است که در یک حوضهٔ آبریز با مساحت ۱۰ هزار کیلومتر مربعی. شکل ۲ دو رودخانه را با زیرحوضه‌های هر کدام در طول آن‌ها نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمایش دو رودخانه با زیرحوضه‌های هر کدام در طول آن (دادس و روتمن، ۲۰۰۰)

در شکل ۲– a حوضه‌ها به وسیلهٔ طول و عرض محدود شده‌اند. L_{II} طول و L_I عرض حوضه است. ناحیهٔ a در حوضهٔ A به این طول بستگی دارد و a متناسب است با:

$$a \alpha L_{II} \times L_I \qquad (۳)$$

اندازه‌گیری‌های به‌دست‌آمده از حوضه‌های رودخانهٔ واقعی نشان می‌دهد که میزان L_I مثل توان h^3 در (L_{II}) است (اندازهٔ تقریبی h حدوداً ۰/۶).

1. Hack's low
2. Dynamic equilibrium
۳. قانون هک (Hack) بیان می‌کند که طول اندازهٔ جریان اصلی حوضهٔ رودخانهٔ مثل توان h حوضهٔ رودخانه (a) در فرمول (L×ah) به‌دست آمده است. از مطالعات اولیهٔ هَک در سال ۱۹۵۷ اندازهٔ تقریبی h حدوداً ۰/۶ به‌دست می‌آید.

$$L_I \alpha L_{II}^H \quad (۴)$$

با جای‌گزینی فرمول ۳ در فرمول ۴، رابطهٔ ۵ به‌دست می‌آید.

$$a \alpha L_{II}^{1+H} \quad (۵)$$

رابطه‌های ۴ و ۵ قوانین مقیاس[1] هستند؛ به‌ترتیب بیان می‌کنند که چگونه اندازهٔ یک جزء (طول) با بقیهٔ اجزا (مساحت) مرتبط است. شکل a، $H \neq 1$ نشان می‌دهد که تحت عنوان تشابه هندسی نامیده می‌شود. در شکل b، $0 \leq H < 1$ است و نشان می‌دهد شکل حوضه کشیده‌تر و باریک‌تر می‌شود. به عبارت دیگر، $0 < (1-H)/(1+H)$ است.

$$L_I / L_{II} \, \alpha \, L_{II}^{-(1-H)} \alpha \, a^{-(1-H)/(1+H)} \quad (۶)$$

نسبت ظاهری L_I / L_{II} کاهش می‌یابد. در نتیجه اندازهٔ حوضه افزایش می‌یابد (دادس و روتمن، ۲۰۰۰: ۴-۵). قانون هک بیان می‌کند که طول اندازهٔ جریان اصلی حوضهٔ رودخانه مثل توان h حوضهٔ رودخانه (a) در فرمول (L×ah) به‌دست آمده است. این قانون به‌عنوان تجلی یک مفهوم بنیادی در ژئومرفولوژی مطرح است. درواقع، می‌توان قوانینی از آن‌ها استخراج کرد و آن‌ها را به سیستم‌های آبریز دیگر تعمیم داد. به این مقیاس در اصطلاح Universality scaling گفته می‌شود.

اوانز و مفاهیم بنیادی در ژئومرفولوژی



ایان. اس. اوانز[2]، از دانشگاه دورهام انگلیس، تحقیقات و مقالات خود را از سال ۱۹۶۳ شروع کرد و تحقیقات بسیار ارزشمندی انجام داده است. از جمله کارهای اوانز طرح مسائل بنیادی در علم ژئومرفولوژی و ارتباط آن با قوانین کمّی در علوم دیگر است. اوانز و همکار او، مکلین (۱۹۹۵)، به بررسی روابط کمّی بین اجزای پدیده‌ها پرداختند. وی به نوعی از مقیاس به نام مقیاس ویژه[3] اشاره دارد. وی با بررسی‌های متعدد از پدیده‌های ژئومرفولوژی مانند یخچال‌ها و برخان‌ها اثبات می‌کند که اشکال ژئومرفیک در بطن خود از مقیاس خاصی تبعیت می‌کنند و انحراف معیار یا دیگر ویژگی‌های آماری هر پدیده در دامنهٔ خاصی می‌تواند تغییر کند؛ به صورتی که هر دامنهٔ آماری مربوط و مختص به یک پدیده است. مثلاً، اگر انحراف معیار نسبت طول به عرض یخچال‌ها فرضاً A باشد، انحراف معیار نسبت طول و عرض برخان‌ها B خواهد بود و مقدار A از یک دامنهٔ به‌خصوص، که ویژهٔ همهٔ یخچال‌های دنیاست، تبعیت می‌کند. به عبارت دیگر، پاره‌ای از شاخص‌های آماری مانند انحراف معیار برای اشکال و فرم‌های ژئومرفولوژی عدد خاصی را نشان می‌دهد که این اعداد را می‌توان به‌عنوان معیارهای تشخصی آن‌ها به‌کار گرفت. این اعداد و معیارهای آماری را که برای هر یک از پدیده‌های فرمی عددی است ثابت، وی «مقیاس ویژه» نام نهاده است. نکتهٔ درخور توجه در این گونه بررسی‌ها نشان می‌دهد که فرم‌های تعادلی این خصیصه‌ها را از خود بروز می‌دهند و اگر فرمی از حالت تعادل خارج شود، دیگر شاخص‌های آماری آن‌ها از دامنهٔ متداول و معمول تبعیت نمی‌کند و لذا تغییرات مقیاس ویژه می‌تواند بیان‌کنندهٔ وضعیت تعادلی یا عدم

1. Allometric scaling
2. Ian S. Evans
3. Scale-Specific

تعادلی یک فرم تلقی شود (اوانز و همکاران، ۲۰۰۳: ۷۸–۷۹). بنابراین، می‌توان گفت که این ویژگی‌ها می‌تواند خصوصیات هویتی خاص پدیده‌ها نیز تلقی شود. بنابراین، آنچه در نوشته‌های وی به‌چشم می‌خورد می‌توان به موارد زیر اشاره دارد:

وی مفهوم دیگری از مقیاس در پدیدها را ارائه می‌دهد که به مقیاس ویژه در ژئومرفولوژی شهرت دارد؛

همهٔ پدیده‌های ژئومرفولوژی دارای حدوده مشخصه‌ای از معیارهای آماری‌اند؛

تغییرات مقیاس ویژه می‌تواند به‌عنوان معیار تشخیصی و هویتی یک پدیدهٔ ژئومرفیک تلقی شود و وضعیت تعادلی و عدم تعادلی یک فرم یا پدیده را می‌توان توسط آن تشخیص داد.

دونالد لاوسون تورکات، از دانشگاه کرنل امریکا



تورکات ژئوفیزیک‌دان امریکایی است که مشهورترین اثر وی نظریهٔ لایهٔ مرزی، حرکات همرفتی گوشته به‌عنوان بخشی از تئوری تکتونیک صفحه‌ای و توصیف فرورانش است[1]. او جوایز بسیاری از جمله مدال Arthur Louis Day از انجمن زمین‌شناسی امریکا، مدال William Bowie، و مدال Charles A. Whitten از اتحادیهٔ ژئوفیزیک امریکا به‌دست آورد (گیت، ۲۰۰۳). تورکات در طول دوران علمی تخصصی خود مطالعات بسیاری انجام داد و در تحقیقات مثال‌زدنی او می‌توان به Scale Invariance، Fractal set Definition، Fragmentation، seismicity and tectonic، و self-organised اشاره کرد.

تورکات (۱۹۹۷) به مفهومی دیگر از مفاهیم مقیاس می‌پردازد که به فرامقیاس (Invariance scale) شهرت دارد. این بدان معنی است که پدیده‌ها می‌توانند حامل نسبت‌هایی باشند که به وسعت و اندازهٔ آن‌ها بستگی نداشته باشد. پاره‌ای از فرم‌ها و اشکال طبیعی بیان‌کنندهٔ اندازه و بزرگی واقعی آن‌ها نیستند؛ مگر آنکه در برابر شیء دیگری به صورت مقایسه‌ای قرار بگیرند. این مسئله حکایت از یک واقعیت عمیق‌تر از لحاظ مفهومی دارد و آن اینکه کوچکی و بزرگی پاره‌ای از پدیده‌ها در فرم آن‌ها منعکس نبوده و فقط وقتی ابعاد و اندازهٔ واقعی آن‌ها بر بیننده مشخص می‌شود که با چیزی در مقام مقایسه قرار گیرند. پدیده‌هایی که چنین ویژگی و خاصیتی دارند در علم آمار در مقولهٔ توزیع‌ها با دو شاخص فرکانس و شدت توضیح داده می‌شوند. مثلاً، برای نشان‌دادن اندازه و مقیاس یک زلزله از دو فاکتور فرکانس و بزرگی بهره جسته و با یک رابطهٔ توانی بین آن‌ها به تشریح آن پرداخته می‌شود و چنین مقیاس‌هایی را هرگز نمی‌توان در مفهوم مقیاس خطی بیان کرد. فرامقیاس در ژئومرفولوژی به‌ویژه در توپوگرافی چشم‌اندازها به‌کار گرفته می‌شود و از این رو می‌توان ضریب ناهمواری را از جمله خصیصه‌های چشم‌اندازی ذکر کرد که تابع مفهوم فرامقیاسی است. اگرچه توپوگرافی چشم‌اندازها می‌تواند تحت تأثیر عوامل متعددی از عوامل تکتونیک تا فرسایش را دربر گیرد، میزان ضریب ناهمواری‌ها را می‌توان با یک نسبت خاص بیان کرد و تفاوت نمی‌کند که این ویژگی برای چه چشم‌اندازی با چه وسعتی رخ داده می‌شود.

1. The boundary layer theory of mantle convection as part of the theory of plate tectonics

بنوت مندلبورت و فراکتال

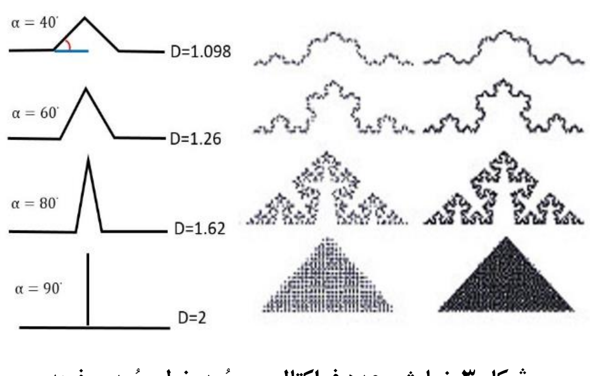


مندلبورت، ریاضی‌دان فرانسوی‌تبار- امریکایی (۱۹۷۵)، مفهوم هندسهٔ فراکتال[۱] یا بی‌بُعد توسط وی وارد دنیای هندسه شد. او توانست برخی از قوانین تجربی را که بین پدیده‌ها وجود دارد کشف کند و نشان داد برخی از قوانین و روابط بین پدیده‌ها و چشم‌اندازها ثابت و برخی متغیرند (مندلبورت، ۱۹۸۳) و این مسئله به بالابردن درک انسان از پدیده‌های طبیعی کمک فراوانی کرد. به عبارت دیگر، فراکتال یک فرم به‌اصطلاح ناهنجار و چندپارهٔ هندسی است که به اجزای کوچک‌تری بخش‌پذیر است؛ به‌طوری‌که هر یک از اجزای خود کپی و نمونهٔ کوچک‌ترشده از تمامیت و کلیت تصویر و فرم ابتدایی است. پارامتر مهمی که مشخصهٔ اصلی فراکتالی‌بودن یک پدیده است بُعد فراکتالی است. بُعد فراکتال ارتباط با سایر ویژگی‌های فیزیکی و هندسی پدیده دارد. فراکتال در ژئومرفولوژی یکی از مفاهیم جدیدی است که پدیده‌هایی را که با فرم‌های هندسی ساده قابل توصیف نیستند معنا می‌کند. در ژئومرفولوژی فرایندهای فرسایشی و کانسارسازی نقش عمده‌ای در ایجاد اشکال فراکتال دارند. مثلاً، ترک‌خوردگی رس‌ها در سطوح پلایاها یا الگوهای هزار دره و ریپل مارک‌های ماسه‌ای نمونه‌های ساده‌ای از این اشکال‌اند. به‌عنوان مثال، روش شمارش جعبه‌ای برای پدیده‌های دوبُعدی مثل خطوط ساحلی، رودخانه، و دیگر پدیده‌های خطی در مقیاس‌های مختلف استفاده می‌شود (رابطهٔ ۷) که L طول و N تعداد سلول‌ها با طول ضلع S است. بنابراین، طول ظاهری یک پدیدهٔ خطی به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد و هرچه N افزایش می‌یابد S کاهش می‌یابد. توانی که رشد غیرخطی در N را نشان می‌دهد بُعد فراکتالی است (رابطهٔ ۸).

$$L = NS \qquad (۷)$$

$$\mathrm{N(s)} = \frac{c}{S^{D}} \qquad (۸)$$

که c ثابت است. عدد فراکتال عددی بین بُعد ۱ (بُعد خط راست) و ۲ (بُعد صفحه) خواهد بود (شکل ۳).



شکل ۳. نمایش عدد فراکتال بین بُعد خط و بُعد صفحه

تخمین مقادیر D برای پدیده‌های خطی به صورت زیر عمل می‌شود. سپس، رابطهٔ بین logN(S) و log N(1/S) توسط رگرسیون خطی تعریف می‌شود و شیب خط مستقیم به‌دست می‌آید که بُعد فراکتالی D است (رابطهٔ ۹).

1. Fractal

$$D = \lim_{s \to o} \frac{\log N(S)}{\log(\frac{1}{S})} \quad (۹)$$

برای به‌دست‌آوردن بُعد فراکتالی از نسبت مقیاس‌ها و تعداد سلول‌ها برای محاسبهٔ بُعد فراکتالی استفاده می‌شود و مقداری که در این روش حاصل می‌شود بین ۱ و۲ است. در رابطهٔ ۵ بُعد فراکتالی از میانگین‌گیری روی حالت‌های مختلف محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۱۰).

$$D = \frac{\log(\frac{N2}{N1})}{\log(\frac{S1}{S2})} \quad (۱۰)$$

البته، برای محاسبهٔ بُعد فراکتالی از روش محاسبهٔ ظرفیت استفاده می‌شود که به صورت رابطهٔ ۵ محاسبه می‌شود که در آن n تعداد سلول‌های پوشش‌دهنده در حالت قائم است (رابطهٔ ۱۱) (علیمی‌زاده و ماه‌پیکر، ۲۰۱۷: ۲۶۲).

$$D = \frac{\log(N)}{\log(n)} \quad (۱۱)$$

لذا، در مکتوبات مندلبورت بر این موارد اشاره دارد که:

مقیاس با بزرگ‌نمایی های متفاوت ساختاری یکسان دارد و در فراکتال‌ها با عدم تغییر ابعاد واحد اولیه و با تکثیر آن واحد حول یک محور و با زاویه‌های مختلف پدیده‌های بزرگی را به‌وجود می‌آورد که اگرچه فرم‌های خاصی را به‌وجود می‌آورد، هستهٔ اولیهٔ فرمی آن در همهٔ اشکال به‌وجودآمده ثابت است؛

فراکتال‌ها دارای خصوصیات خود مشابه در مقیاس‌های کوچک و بزرگ است؛

اشکال خود مشابه در هر بزرگ‌نمایی دارای ثبات مقیاس‌اند و فرامقیاسی عمل می‌کنند؛

ساختار اشکال و پدیده‌ها در طبیعت دارای وجوه غیریکسان‌اند، اما وقتی این اشکال تکرار می‌شوند شکل کلی را می‌سازند. اگرچه اشکال شباهتی کمی با جزء واحد اول ندارند، آن شکل ترکیبی از یک واحد است که به شیوهٔ خاصی با یکدیگر ترکیب شده‌اند. لذا، می‌تواند هندسهٔ بی‌بُعد یا بی‌مقیاس را نشان دهد.

دیو روسگون[1] و مفهوم مقیاس در حوزهٔ سلسله‌مراتب



روسگون (۱۹۹۶)، هیدرولوژ و ژئومرفولوژیست امریکایی، اولین محققی است که برای طبقه‌بندی و تیپ مرفولوژی رودخانه‌ها با استفاده از تئوری سلسله‌مراتبی نسبت به طبقه‌بندی آن‌ها اقدام کرده است. در این طبقه‌بندی دو مطلب بسیار مهم ملحوظ شده است.

در این طبقه‌بندی رودخانه‌ها به تیپ‌های G، F، E، D، C، B، و A تقسیم شده‌اند و برای هر کدام از آن‌ها زیرمجموعه‌هایی تحت عنوان A1، A2،B1 ، B2 و ... درنظر گرفته شده است. نکتهٔ بسیار بااهمیت در این طبقه‌بندی استفاده از شاخه‌های رقومی مرفیک است که از آن جمله می‌توان شیب، نسبت عرض به عمق، سینوزیته، و پاره‌ای از شاخص‌های دیگر را نام برد. این شاخص‌ها برای تقسیم‌بندی رده‌ها و زیررده‌ها

1. Dave Rosgon

متفاوت و از قبل تعریف شده‌اند. به عبارت دیگر، تقسیم‌بندی روسگن، ضمن آنکه از یک الگوی سلسله‌مراتبی پیروی می‌کند، به طبقه‌بندی شکل‌شناسانهٔ رودخانه‌ها بر اساس شاخص‌های فرمی و پاره‌ای نسبت‌های رقومی اقدام کرده است. او برای پژوهش‌های میدانی چهار سطح مطالعاتی را مشخص می‌کند که برای هر سطح به مطالعهٔ موارد خاصی مبادرت می‌شود. لذا، محققان بر حسب آنکه چه ویژگی رودخانه را بخواهند مطالعه کنند یا در چه سطحی به تحقیق بپردازند حوزه و قلمرو کاری خود را به خوبی از قبل تعیین می‌کنند (روسگون، ۱۹۹۶: ۳-۵). او در مطالعات مربوط به رودخانه‌ها با انتخاب الگوی سلسله‌مراتبی سعی کرده است، ضمن حفظ ارتباط مطالعه، مقیاس مناسبی در حوزهٔ فرم‌شناسی رودخانه‌ها ارائه دهد. نکات جالب کار وی در چند خصیصهٔ مهم خلاصه می‌شود:

– اول آنکه مقیاس به‌کارگرفته‌شده توسط وی در حوزهٔ فرم‌شناسی انجام گرفته که این خود در حفظ هویت علم ژئومرفولوژی مؤثر است؛

– خصیصهٔ دوم آن است که، برخلاف معمول که بزرگی و کوچکی در مطالعات مبنا قرار می‌گیرد، وی با به‌کار بردن واژهٔ سطح مطالعاتی، سعی کرده مفهوم مقیاس در حوزهٔ اقلیدسی را ترک کند و به نحوی در حوزهٔ فضا وارد شود.

– خصیصهٔ سوم آن است که الگوی سلسله‌مراتب نوعی مقیاس است، اما در اینجا مقیاس مفهوم کسری را دربر نمی‌گیرد. اگرچه نمی‌توان نظام کسری را در این سیستم به‌کار گرفت، نوعی طبقه‌بندی که مفهوم ضمنی مقیاس را دربر دارد و می‌توان به آن مقیاس موضوعی[1] نام نهاد.

آزاده گلی مختاری و ژئوآلومتری



گلی مختاری از دانشگاه سبزوار اولین ژئومرفولوژیست ایرانی است که در سال ۱۳۹۱ تحقیقات جالبی دربارهٔ آلومتری و طرح آن در ژئومرفولوژی بیان کرد. وی واژهٔ ژئوآلومتری را برای اولین بار در این علم به‌کار برد. او با تحقیق دربارهٔ بررسی قوانین رشد در حوضه‌های آبریز به رابطهٔ بین متغیرهایی از قبیل طول کلی کانال‌ها، طول رود اصلی، رتبهٔ آبراههٔ اصلی، و مساحت حوضهٔ آبریز پرداخت. او بیان کرد که بهترین روابط بین این متغیرها در فرم آلومتریک است و این معادلات می‌توانند به‌عنوان یکی از ابزارهای مهم در پیش‌بینی وضعیت تحول حوضه‌های آبریز و عوارض ژئومورفیک مورد استفاده قرار گیرند و مفهوم جدیدی برای تحلیل شرایط حوضه‌های آبریز معرفی کرد (گلی مختاری، ۲۰۱۴: ۱). او در نوشتارهای علمی خود بیان می‌کند:

مفهوم مقیاس در این کار یک مفهوم ریاضی است که بازتاب مفاهیم متعددی از جمله پایداری و ناپایداری است. درواقع، پایداری و ناپایداری حاصل تغییر نسبت‌هاست و هنگامی حاصل می‌شود که نسبت‌های خاصی بین عناصر برقرار شود. با توجه به اهمیت حصول این شرایط در ژئومرفولوژی، دست‌یابی به نسبت‌هایی از فرم، که بیان‌کنندهٔ حالت‌های گوناگون چشم‌اندازها باشند، امری ضروری است؛ زیرا این نسبت‌ها می‌توانند مفهوم پایداری یا ناپایداری در یک چشم‌انداز را بیان کنند. وی این مفهوم از مقیاس در ژئومرفولوژی را ژئوالومتری نام نهاده است.

از نتایج بدیع کار وی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

---

1. Thematic scale

– هر نسبتی را نمی‌توان ژئوآلومتری نامید؛

– هر نسبت و رابطه‌ای که بیانگر یک مفهوم خاص مانند پایداری یا تعادل و ... در ژئومرفولوژی باشند می‌تواند به این اسم نامیده شود.

نتیجه‌گیری

مقیاس به طور عام در جغرافیا به نسبت تصویر یک پدیده به اندازهٔ واقعی آن گفته می‌شود که معمولاً به صورت یک کسر یا به صورت خطی نشان می‌دهند. کسر در مقیاس‌های عددی می‌تواند با صورت ثابت و مخرج متعدد بیان شود، مانند نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰. الگوی دیگر نمایش مقیاس با نمایش کسری با صورت متفاوت و مخرج ثابت بیان می‌شود که اصطلاحاً به آن گرادیان می‌گویند، مانند ۲ در هزار و یا ۵ در هزار و ... نسبت در هندسه به صورت زاویه و تحت عنوان تانژانت بیان می‌شود. در سه دههٔ اخیر، ژئومرفولوژیست‌ها و علوم مرتبط با مطالعات تخصصی توانسته‌اند برخی مفاهیم پیچیده‌تر از مقیاس را در کارهای خود به‌کار گیرند که تحت عناوین خاصی نام‌گذاری شده است؛ از جملهٔ این مفاهیم Universality scaling است که مدیون کارهای هک است و مفهوم مقیاس ویژه، که مدیون کارهای اوانز است. تورکات مفهوم فرامقیاس را تعریف کرده و مندلبورت مقیاس فراکتال، روسگون مقیاس موضوعی Thematic scale، و گلی مختاری را می‌توان مبدع و تعریف‌کنندهٔ مقیاس در ژئوآلومتری دانست. درنهایت، می‌توان گفت هرکدام از این محققان در بحث مقیاس مفاهیم مختلفی ارائه داده‌اند؛ اما موضوعی که بین همهٔ این محققان مشترک است درک عمیق‌تری از معنی‌داری زمین و پدیده‌های ژئومرفولوژی است و باید به این حقیقت اعتراف کرد که عمق و ژرفای فهم آن‌ها از ژئومرفولوژی در بداعت نظری آن‌ها نقش اول را داشته است.

منابع

Alimia Zadeh, Hiva and Mah Peykar, Omid (2017). A Study of Fractal Theory in Zarrineh River Using the Box Counting Method, Journal of Geographical Space, 17(59): 255-270.

Chorley, R. J., Schumm , S, A, Sugden, D.E. (1977). Geomorphology , translated by Ahmad Motamed, 2010, Vol. 1, Tehran, Samat Publications.

Dodds, P .S , Rotman, D.H. (2003). Scaling, Universality and geomorphology, Publication: Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 28: 571-610.

Doornkamp, J.C. and King, C.A.M. (1971). Numerical analysis in geomorphology, Londen, Edward Arnold.

Dunlap, R.A. (1997). The Golden Ratio and Fibonacci Numbers, World Scientific Publications, 162 pages.

Evans, I. S.; Dikau, R.; Tokunaga, E.; Ohmori, H. and Hirano, M. (2003). Scale-Specific Landforms and Aspects of the Land Surface, Concepts and Modelling in Geomorphology: International Perspectives TERRAPUB, Tokyo, P. 61-84.

Gates, Alexander E. (2003). "Turcotte, Donald L. 1932". A to Z of earth scientists. New York: Facts on File. pp. 265–266. ISBN 9781438109190

Ghorbani, Abolghasem (1971). Kashaniyehnameh, Tehran, University of Tehran Press.

Ghorbani, Abolghasem (1986). Biography of Mathematicians of the Islamic Period, Tehran, University Press.

Goli Mokhtari, Leila (2014). A Study of Growth Rules in Floating Basins, Iranian Conference on Geographical Sciences, University of Tehran.

Hammel, Garland Trudi (1987). Fascinating Fibonaccis: Mystery and Magic in Numbers, D. Seymour Publications, 103 pages.

Keramati, Younes (2002). In the field of mathematics (rewriting of the book Muftah al-Hesab by Ghiasuddin Jamshid Kashani), Tehran, Ahl Ghalam Cultural Institute.

Lague, D.; Alain, Crave and Philippe, Davy (2003). A stochastic ‘‘precipiton’’ model for simulating erosion/sedimentation dynamics , Journal of Geophysical Research, 108(B1).

Loller, Robert (1989). Sacred Geometry, translated by Hayedeh Moayeri, Tehran, Institute for Cultural Studies and Research Publications.

McClean, C. J. and Evans, I. S. (2000). Apparent fractal dimensions from continental scale digital elevation models using variogram methods: Transactions in GIS, 4(4): 361-378.

Mandelbrot BB. (1983). The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: Freeman Manna SS, Dhar D, Majumdar SN. (1992). Spanning trees in two dimensions. Phys. Rev. A 46:4471–74

Olsen, Scott (2006). Golden Section, Wooden Books Publisher, 64 pages

Osterkamp, W.R. , Hupp, C.R. (1993). "Memorial to John T. Hack", Memorials, Publications of the Geological Survey, P. 59-61.

Rigon, Riccardo et al. (1996). On Hack's law, Water Resources Research, 32(11): 3367-3374.

Rosgon, Dave (1996). Applied River Morphology, Published by Wildland Hydrology in Pagosa Springs, Colo.

Runion, Garth E. (1990). The golden section, Dale Seymour Publications, pages 173.

Tate, Nicholas J. and Atkinson, Peter M. (2001). Modeling Scale in Geographical Information Science, John Wiley and sons Ltd, England.

Temple Bell, Eric (1984). Famous Mathematicians, translated by Hassan Saffari, Tehran, Sepehr Publishing, second edition.

Thorn, C.E. (1982). Space and time in geomorphology. London: George Allen and Unwin.

Thornes, J.B. and Brunsden, D. (1977). Geomorphology and Time, Methuen, London.

Turcotte, L. (1997). Fractals and Chaos in Geology and Geophysics, Cambridge University Press.

Walser, Hans (2001). The Golden Section, Translated by Peter Hilton, Publisher MAA (The Mathematical Association of America), 158 pages.